

アメリカ気象学会第11回数値予報会議参加報告*

小林 ちあき**・隈 健 一***

1. はじめに

1996年8月19日から23日まで、アメリカ・バージニア州ノーフォークにおいて上記会議が開催された。この会議は2年に1回行われており、前回の会議については、気象庁の隈が天気 Vol. 42, No. 2 に報告している。

今回の講演応募件数は227件と前回より少ないとはいえ、数値予報という分野のみであることを考えれば十分多く、今回もアメリカ数値予報界の層の厚さが感じられた。また、アメリカの気象学会であるにもかかわらず、世界各国から参加者が集まり、立派な国際会議であると思われた。

会議予稿集の表紙の絵はアンサンブル予報の概念図、裏表紙はアンサンブル予報を用いて誤差の原因となる地域をトレースバックし、そこで観測を行うという NAOS (North American Observing System) Program の概念図である。これが示すように、今回の会議ではアンサンブル予報や adjoint 法を使った forecast sensitivity の研究についての講演が多く、同時に共同開催されていた第15回天気解析予報会議の題目にもアンサンブルの文字が目立っていた。

以下に数値予報会議のセッション名を紹介する。

ジョイントスペシャルセッション (招待講演)

- J1 アンサンブルと予測可能性
- J2 量的降水予報
- 2 季節予報と気候予測
- 3 数値予報一般
- A 再解析と関連研究

- 4B アンサンブルと予測可能性
- 5A regional データ同化
- 5B アジョイントとモデルの sensitivity
- 6A regional スケール予報
- 6B 数値計算法
- 7A 全球データ同化
- 7B 陸面・降水・水収支
- 8 データに対する sensitivity
- 9A 物理過程を含むデータ同化
- 10A 対流とメソスケール
- 10B 物理過程
- 11 熱帯低気圧
- 12A モデルの診断
- 13 超並列計算機への応用
ポスターセッション

2. 講演

2.1 招待講演

1日目から4日目まで、天気解析予報会議とのジョイントスペシャルセッションとして1日2件ずつの招待講演が行われた。

1日目は NCEP (National Centers for Environmental Prediction, 旧 NMC) の長であり次期 AMS (American Meteorological Society, アメリカ気象学会) 総裁となる McPherson により、近代化された気象業務において数値予報が果たす役割と、数値予報モデルとデータ同化システムを基礎とした観測システム (NAOS Program) の紹介があった。また、NWS (National Weather Service) の Uccellini は21世紀に向けて予報官が果たす役割について述べ、数値予報が発達しても予報官の役割は重要であるとまとめた。

2日目は NCEP の最近の開発成果と2001年に向けた開発計画が NCEP のモデル開発課長の Kalnay によって示された。アンサンブル予報から得られる誤差

* Report on AMS 11th Conference on Numerical Weather Prediction.

** Chiaki Kobayashi, 気象庁気候情報課.

*** Ken-ichi Kuma, 気象庁数値予報課.

© 1997 日本気象学会

成長モードを使い、データ同化に利用したり、アンサンブル予報から得られる情報によって、観測を強化する場所を決めたり、という最近の研究成果が紹介された。観測、データ同化、予報がお互いにフィードバックするシステムができ上がろうとしていることが感じられた。また、ECMWF（ヨーロッパ中期予報センター）所長の Burridge によって ECMWF の開発成果と開発計画が示された。1999～2000年に富士通の計算機を使って T639 のモデルの運用を目指すそうである。

3日目はイギリス気象局の Dickinson とカナダ気象局 Dubreuil がそれぞれ自国のシステムの現状と最近の開発成果、開発計画を説明した。

4日目は U.S.Navy のシステムの現状と開発計画が Ranelli によって説明された。また、気象庁の Kuma は、今年3月に変更となった JMA の数値予報の現業システムとその成果の説明を行った。開発に当たる人数や日本の数値予報の歴史など、広範囲の話題が示された。気象庁作成の気象データが気象業務支援センターを通してユーザーに届くまでのしくみについては、質問もあり、聴衆の興味をひいていた。また、日本からの招待講演はこれが初めてのことだそうである。

2.2 一般講演

基本的にパラレルセッションとなっており、講演数も多かったので、興味のある講演のみ示すことにする。

セッション J1 では、各国におけるアンサンブル予報が紹介された。NCEP の Kalnay は上述したようにアンサンブル予報を利用したいろいろな試みを示した。領域モデル (Eta モデル) を使用した短期予報のアンサンブル予報も週に1回実験的に行われているそうである。ECMWF の Buizza は、現在のアンサンブルシステムの概要と1995～1996年の冬についての検証結果を示した。また、1997～1998年にかけてのアンサンブルシステムの変更として、T159のモデルで50メンバの10日予報を行うことを予定しているそうである。イギリス気象局では ECMWF のアンサンブル結果を利用して、確率予報のためのプロダクトの作成を当面の課題としている。また、週に1回、ECMWF で作成したパータベーションを自国の解析値に加えアンサンブル予報を行っており、それぞれのアンサンブル平均の予報より、両方の予報を合わせたもののほうが成績がよいことが示された。

セッション2では、気象庁の Kobayashi が、この3月から現業的に始められたアンサンブル1か月予報の

システムと成績を紹介した。

セッション4Aでは、CPC（気候予報センター）の Schemm が、50日予報の結果を示した。アメリカの1か月予報は15日のリードタイムがあるため、また、実験がアンサンブル予報ではないためか、予報成績は暗澹たるものがある。しかし、熱帯域だけはいくらかよい成績を示していた。

セッション4Bでは、NCEP の Lord が東海岸沖の北太平洋の特別観測データが予報へ与えるインパクトについて示していた。特別観測データが予報に大きいインパクトを与える場合の初期場と、同事例でこのデータがない場合の初期場との差のパターンが、アンサンブル予報で一番成績の良いメンバーのパータベーションパターンと良く似ているというものであった。

セッション5Bでは、NCEP の Pu が、予報スキルを向上させるために、過去の予報誤差を使う方法を示した。adjoint 法を使い1日前の予報の誤差から sensitivity パターンを求め、前の初期値を調節してからもう一度現在の初期値を作り直して予報を始めるというものであった。同様の研究はデンマーク気象局からも発表され、貧乏人の4次元変分法 (poorman's 4DVAR) と呼ばれていた。

セッション10Aでは、オクラホマ大学のストーム解析予報センター (CAPS) で計画されているシステムについての説明があった。これは、ドップラーレーダーを使って連続データ同化により初期値を作成し、3 km メッシュのモデルでストームの解析予報を行う現業システムであり、2000年ごろ立ち上げられる。このための運用実験が間もなく開始されるそうである。

セッション11では、気象庁の Kuma が大規模場からの forcing を取り入れた荒川-シューベルトスキームにより、台風の発生や Madden and Julian oscillation がうまく表現できるようになったことを報告した。

2.3 ポスターセッション

1日目と4日目の夕方にポスターセッションが開かれた。

フランス気象局の Hello らと ECMWF の Bouttier は adjoint 法を用いて sensitivity field をもとめ、その付近の観測データの重みを重くすると、低気圧の表現が良くなることを示した。現時点ではリアルタイムにこのような予報を行うことは難しいかもしれないが、予報官が予報資料を見ながら、データの重みを重くする場所を直接決めるようになれば、予報官にとって重要な Tool となるであろう、としている。同様の研究は

海軍研究所からも発表されている。

また、NCEPのZhuらはNCEPとECMWFのアンサンブル予報の評価を行った。両センターのモデルの性能はほとんど同じであるが、ある天気現象の起こる予想確率と実況の出現率の関係をみると、NCEPのアンサンブル予報のほうがECMWFより実況にちかい分布をするということであった。

3. アンサンブルの利用の討論会

非公式ではあるが3日目のpm 8:30から「アンサンブルの利用の討論会」が開かれた。実際の利用者である地方の予報官（と思われる人）も出席しており、アンサンブル予報として出力されるデータをどのように利用していくべきか、意見が交わされた。

アンサンブル予報を行うと、膨大なデータができる。アンサンブル平均は、その一番凝縮された表現方法であるが、その他の利用方法について、例えばスプレッドの表現方法や検証の方法をいかにすべきか等が話し合われていた。「スパゲティダイアグラム」¹¹を見せられても予報官はローカルな予報を発表するためにどのように利用したらいいのかわからない、とか、実際のユーザーは確定的な予報を求めているのに、「アンサンブル予報によればxx%はXXとなりyy%はYYとなる予報です」とは言えない、等のかかなり具体的な話はとても面白く感じられた。

4. 全体の印象

4.1 アンサンブル予報花盛り

初めに述べたようにこの会議の大きなテーマの1つはアンサンブル予報であった。日本では、現業的に1か月予報に対して使われ始めたばかりのこの技術は、中期予報ばかりではなく、短期予報やデータ同化、観測システムにまでも積極的に使われ始めている。利用方法についてまだまだ模索中で、いろいろなアイデアが試みられているという感じがした。ただ、物理過程や数値計算法の改良のようなモデル自身の改良よりも、今あるモデルを使っていかに良い成績を導くか、という現業的な技術であるということも認識しておくなくてはならないと思う。モデル改良に関するセッ

¹¹ アンサンブル予報の各予報の等値線を1枚の絵に重ねたもの。例えば500 hPaの5520 m高度の等値線が1枚の絵に重ねて描かれている。なん本もの線がごちゃごちゃと描かれており、スパゲティのようなのでこのように呼ばれている。

ションが日程の後半にあったためか、参加者がアンサンブル予報のセッションより少なくなってしまうのが気になった。

今回、韓国気象庁の数値予報課からは4人が参加しており、韓国系の留学生と合わせて10名ぐらいが会議に参加していた。前回の報告にも記述されていたが、アジア系の研究者のなかでは、中国系について多く活躍しているようである。気象庁の数値予報課からの参加は隈氏のみであったが、パラレルセッションが基本であったことを考えれば、日本からも数値予報の専門家が2、3人出席しているのが望ましいと思われた。

ノーフォークは日本のガイドブックには紹介されていない町で、ワシントンD.C.から車で3時間ほどの軍港である。会議場となったホテルの窓からみると、正面に戦艦用のドックがあるようなところであった。初日に乗ってみた往復2時間半の遊覧船からは40~50隻の戦艦や潜水艦、空母ジョージワシントン、などを見ることができ、アメリカの底力を見た感じがした。

となり町はバージニアビーチというリゾート地であるためか、家族連れの参加者が多かった。会議場の後ろの席で子供をとなりに座らせながら講演をきいている人や、足の不自由な車椅子の発表者が奥さんと思われる女性にOHPシートを交換してもらいながら講演をしたり、と日本ではまだ考えられない光景も目にした。

海外で行われた会議の参加報告にはよく書かれていることであるが、筆者も英語力の不足を痛感した。しかし、実際に行って研究成果を見たり、聞くということはとても強い刺激となる。チャンスがあれば、積極的に参加していくべきであると思った。

会議の参加にあたり、気候情報課の皆様には様々な支援をしていただきました。ここに感謝を表わしたいと思います。また、気象学会の国際学術交流基金から補助をいただきました。合わせて感謝致します。

(小林ちあき)

4.2 新しい天気予報の夜明け

今回の会議でもっとも痛切に感じたのは、天気予報が決定論的世界観からいよいよ脱皮しつつある、ということである。入電した観測から初期値を作成し、その初期値の時間発展を唯一のシナリオとして天気予報をとらえる、という機械論的な概念に基づき、数値予報の研究及び業務が開始された。ところが、ローレンツがカオスというアンチテーゼを提唱し、予報時間が長くなると初期値の不確定性と方程式の非線形性によ

り予測不可能になることを60年代初頭に発表した。ところが、当時の数値予報の技術は計算機能力の問題もあって、カオスの相手にならないほどの稚拙なものであった。

数値予報精度の向上に伴い、予報精度にカオスの影がしのびより、初期条件の不確定性に対する問題意識が高まってきた。例えば、2日予報の予報誤差からの adjoint 積分により得られる初期値に対する sensitivity をもとに、初期条件をわずかに変えることで、10日予報まで飛躍的に予報精度が向上するという研究結果が、ECMWF のグループによって1994年に発表された。このような研究により、数値予報が当たらない理由のかなりの部分が初期値に原因があったのだ、という認識が定着したのである。

この認識に基づいて、初期条件をある時間の観測結果から内挿して作成する、という手法から、時間軸、すなわち予報モデルの時間発展を意識して初期値を作成する、という手法に変革されつつある。その代表が予報モデルの時間発展と観測データとの時々刻々の差を小さくすることを基本原理とする4次元変分法であることは、いうまでもない。さらに、5日後のアメリカの天気予報の精度に大きな影響を及ぼすであろう観測をアンサンブル予報などで推定して、飛行機等によりその観測をリアルタイムで実施して、予報精度を向上させようという機動的観測 (adaptive observation) も実行に移されようとしている。鳴かぬなら鳴かせてしまおう、というこの初期条件の作成法の研究論文に、前述のローレンツ先生が名を連ねていたことも印象的であった。予報精度の向上という観点から、数値予報システムを利用して観測システムの再構築を計ろう、という NAOS (北米観測システム計画) も、初期条件に対する積極的なアプローチである。

アンサンブル予報は、初期条件の不確定性等に起因する予報の不確定性を求める手法である。データ同化によって得られた初期値解析に、不確定性に相当する perturbation を加えた複数 (数10以上) の初期条件から出発した複数の予報の広がり方から、予報に信頼性の情報を付加して提供しようと言うものである。もちろん、予報モデルも絶対的なものではなく、パラメータ等に不確定性があるため、モデルのパラメータを変化させることで、予報の不確定性の情報を抽出する方法も提唱されている。初期値の perturbation としては、解析の不確定性に対応し、かつ予報で成長する構造をうまく作成する必要があり、ここでも時間軸を意

識した手法が基本になってきている。アンサンブル予報の課題は、この perturbation の作成法と、業務としてこの予報から得られる情報を利用者にいかに伝えていくかである。

特に一般の利用者には、「3日後の気温が20度以上になる可能性は75%です」というような予報はわかりにくい上、気象庁は無責任だと批判される可能性もあろう。実際、アンサンブル予報の業務化を進めているアメリカや欧州での担当者は、予報官からエンドユーザーまでの利用者に対する研修がきわめて重要である、ことを強く認識するに至っている。

一方、予報官の側からは、単一の予報がたとえおかしいと思ってもそれを修正する客観的手法に欠けている、という現状に問題意識を持つものも少なくない。その点、多数のアンサンブル予報はそれぞれ、初期値の不確定性という範囲で客観性を持つものであり、予報官は、今後の天気変化についていくつかのシナリオを客観的に描くことができる。ただし、データ量が膨大であるため、短時間に予報官が判断できるか、アンサンブルで得られる統計的な結果以上の判断が人間にできるか、という問題はあ

茶の間に定着した降水確率や気象庁の新商品である20 km メッシュの量的予報についても、アンサンブル予報を用いることで、初期値の不確定性が予報のはずれの原因であるという立場から、科学的な裏付けがなされることになる。短期予報については、初期値の不確定性は予報にあまり影響しない、という意見も少なくない。しかし、例えば、数100 km 程度の分解能の高層観測から主として構築される初期値を用いて、数10~100 km のスケールの現象を予測することを考えると、1日程度の予報でも初期値の不確定性の影響は結構大きいのではないか、という気がする。

一般の利用者にとっては、信頼性を付加された予報は浸透しにくいかも知れないが、産業界では、確率を利用して、リスク管理や需要予測などのモデルに組み込み、気象情報の高度利用につながる期待も大きい。例えば、「96年の大吹雪」と名付けられたアメリカ東海岸の猛吹雪は、高い信頼性で予報されたため、ある航空会社は、あらかじめ当日の東海岸の便をすべてキャンセルし、飛行機を安全な地域に退避させることで、大きな損害を免れた。この行為には高いリスクが伴ったことは容易に理解できよう。猛吹雪になる可能性が80%か20%かはきわめて重要な情報である。ただしこの場合、アンサンブル予報で提供される確率的な情報

の検証データも重要である。数値予報モデルの誤差や初期値の perturbation の与え方の問題により、実際の天気推移がアンサンブルの範囲に収まらないことも少なくない。その可能性などを、きちんと検証データとして提供することも情報の高度化には不可欠である。

アメリカやイギリスのアンサンブル予報の担当者

は、天気予報という文化が変わる、という言葉でこの予報技術の与えるインパクトを表現した。確かに、アンサンブル予報をテーマにした臨時の夜のパネル討論会は、何か新しいものが天気予報の世界で始まりそうだという予感と熱気に包まれていた。(限 健一)



「第18回レーザセンシングシンポジウム」のお知らせ

1. 開催日時

1997年7月2日(水)～4日(金)

2. 開催場所

北海道十勝管内陸別町陸別町タウンホール
北海道足寄郡陸別町東1条3丁目

3. 主催

レーザレーダ研究会

4. 参加費

一般12,000円 学生6,000円(予稿集代を含む)

5. 宿泊費

3,000円(陸別泊, 2日(水)～4日(金)有効,
朝食付き)

6. 宿泊場所

セレモ浜田, 陸別町集落センターなど

7. 発表申し込み締め切り: 4月1日

参加申し込み締め切り: 5月30日

予稿締め切り: 5月30日

8. 発表申込方法

電子メールもしくはファックスにて下記形式にて送付ください。

発表題目・講演者名・所属・住所・連絡先(名前, 住所及びTEL・FAX・メールアドレス)

9. 問い合わせ並びに申込先

〒060 札幌市北区北12条西6丁目

北海道大学電子科学研究所光電子物性研究分野

川崎昌博, 橋本訓

TEL: 011-716-2111 (ext. 2408) 橋本

011-706-2896 川崎

FAX: 011-706-4972

e-mail:

kawasaki@hikari.hokudai.ac.jp